

Maden Kaynaklı Trafik Emisyonlarının Dağılımlarının Modellenmesi: Artvin Örneği

Kazım Onur Demirarslan^{1,*}, Şenay Çetin Doğruparmak²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 08100 Seyitler, Artvin. [ORCID: 0000-0002-1023-7584](https://orcid.org/0000-0002-1023-7584)

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kocaeli. [ORCID: 0000-0001-5968-2948](https://orcid.org/0000-0001-5968-2948)

Özet

Madencilik; yer kabuğunda bulunan cevher, endüstriyel hammadde, kömür ve petrol gibi ekonomik değeri olan herhangi bir maddeyi yeryüzüne çıkarma ve gerekli hammaddeyi sağlama işi olarak tanımlanabilmektedir. Günümüzde gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla maden sektörüne olan ilgi artmıştır. Ancak madencilik faaliyetlerinde ciddi bir çevre yönetim sistemi uygulanmadığı için, bu faaliyetlerin önemli zararlı etkileri olmaktadır. Bu etkilerden bir tanesi de çıkarılan hammaddenin taşınması sırasında taşıtlardan kaynaklanan emisyonların oluşturduğu hava kirliliğidir. Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Artvin İli Cerattepe Mevkii'nde kurulan bakır madeni cevherinin çıkarıldığı noktadan işletme alanına taşınana kadar sebep olduğu trafik kaynaklı CO, NO_x ve PM₁₀ emisyonları incelenmiştir. Çalışma kapsamında, belirtilen yol güzergahı 5 bölgeye ayrılmış ve her bir bölgedeki maden açılmadan önceki ve açıldıktan sonraki trafik kaynaklı emisyonlar CALROADS 4.0 programı içerisinde bulunan CAL3QHCR modülü yardımıyla modellenmiş, kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Emisyonlar CORINAIR'in işlem temelli emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Modelleme çalışması sonucu elde edilen verilerin değerlendirilebilmesi amacıyla konsantrasyon artış yüzdeleri hesaplanmış ayrıca her üç kirlilici için sonuçlar iki yönlü ANOVA testi ile incelenmiştir. ANOVA testinin sonuçları, %95 güvenilirlikle, maden sonrası oluşacak trafiğin kirlilik etkisi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler

CALROADS, Çizgi Kaynak, Hava Kalitesi Modellemesi, Trafik Kaynaklı Emisyonlar

Dispersion Modeling of Traffic Emissions originated from Mining: The Case of Artvin

Abstract

Mining can be defined as the work of extracting any material that has an economic value such as ore, industrial raw material, coal and petroleum in the earth's crust and providing necessary raw material. Today, interest in the mining sector has been increased in order to meet the developing technology and the increasing energy needs. However, since there is no serious environmental management system applied to mining activities, these activities have significant harmful effects. One of these effects is the air pollution caused by the vehicles during transportation of the extracted raw material. This study investigates the emissions of CO, NO_x and PM₁₀ due to traffic from the point where ore is extracted to the operation site in the copper mine which was established at Cerattepe location, Artvin city of Eastern Black Sea region. Within the scope of the study, the mentioned road route was divided into 5 regions and the emissions due to traffic before and after the establishing of the mine in each region were modeled by CAL3QHCR module in CALROADS 4.0 program and pollution distribution maps were created. Emission rates are calculated using CORINAIR's task-based emission factors. In order to evaluate the data obtained as a result of the modeling, the percentage increase in concentration was calculated and the results for each of the three pollutants were examined by a two-way ANOVA test. The results of the ANOVA test indicate that the traffic that will be formed after the mine has an adverse effect on the pollution effect with 95% reliability.

Keywords

CALROADS, Line Source, Air Quality Modeling, Traffic Sources

1. Giriş

Ekonominin önemli sektörlerinden biri olan madencilik, sosyoekonomik kalkınma için gerekli olan enerji ve sanayinin temel hammaddelerini sağlayan tüm faaliyetleri kapsamaktadır. Madenler, ülkelerin doğal kaynaklarından biri olup, giderek artan taleplerin karşılanması için işletilmeleri kaçınılmazdır ([URL-1 2009](https://doi.org/10.21324/dacd.420274)). Maden, yer kabuğunun iç ve dış doğal etkenlerle oluşan, ekonomik yönden değer taşıyan minerallere verilen addır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (462) 2151040 Faks: +90 (462) 2151057

E-posta: onurdemirarslan@artvin.edu.tr (Demirarslan K.O)

senayc@kocaeli.edu.tr (Doğruparmak Ş.Ç)

Gönderim Tarihi / Received : 02/05/2018

Kabul Tarihi / Accepted : 13/07/2018

Madenler kabaca; altın, bakır, kalay, kurşun-çinko, krom, nikel, demir vs. gibi metalik madenler, alçı taşı, asbest, bor, fosfat, kuvars, seramik, mermer vs. gibi endüstriyel hammaddeler, yakut, sedef, zümrüt, safir vs. gibi kıymetli taşlar, nükleer enerji hammaddeleri, kömür gibi enerji hammaddeleri başlıkları altında toplanabilir (URL-2 2009).

Madencilik faaliyetleri diğer endüstri faaliyetlerine göre çevrenin fiziksel ve kimyasal olarak bozulmasına direk nedendir. Doğası gereği alternatif yer seçimi şansı bulunmadığından, çoğu zaman; tarım, orman ve canlı yaşam alanlarını, tarihi ve doğal sit alanlarını bozma, az-çok zarar verme durumu ile karşı karşıya kalınmaktadır. Madencilik faaliyetleri birkaç aşamada olup, her birinde doğa farklı olarak zarar görür. En zarar verici faaliyetler; maden işletme (çıkarma), zenginleştirme, metal tasfiyesi ve kazanılması gibi işlemlerden dolayı ortaya çıkan kirleticilerdir (Dilek 2008). Bu kirleticilerden biri de hava kirleticileridir. Madenlerden kaynaklanan hava kirleticileri olarak; kükürt oksitleri (SO_x), azot oksitleri (NO_x), karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2), uçucu organik bileşikler (VOC) ve çeşitli çaptaki partikül maddeler (PM) ile metan gazı (CH_4) sayılabilir (URL-3 2008). Madenin büyüklüğü ve fizikokimyasal yapısı ile faaliyetin süresi kirleticilerin oluşumunda önemlidir. Açık maden işletmeciliğinde doğa tahribatı üretim sırasında doğrudan olmaktadır (Dilek 2008).

Endüstride kullanılan hammaddelerin büyük bir kısmı yeraltı kaynaklarından sağlanmaktadır ve giderek artan talepler, madencilik teknolojisindeki ilerlemeler madencilik alanlarının genişlemesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum ise çevre bozulmalarını daha da yaygınlaştırmaktadır. Unutulmaması gereken gerçek şudur ki; çevreyi koruma, kirliliği önleme ve ekolojik değerleri geri kazanmada en etkili ve maliyeti en ucuz olan yol, çevre bozulmalarını önlemeye erken başlamaktır (URL-1 2009). Bu nedenle, madencilikten elde edilecek ekonomik yarar, fayda-maliyet analizlerinde; doğuracağı çevre sorunlarının giderilmesini de (yatırım-işletim) öngören bir bütün olarak değerlendirilmiş olmalıdır (Dilek 2008).

Yapılan bu çalışmada, madenin çıkarıldığı noktadan işletme alanına transferine kadar oluşan trafik kaynaklı emisyonların (CO , NO_x , PM_{10}) maden işletmeye alınmadan önceki mevcut duruma getireceği kirlilik yükünün belirlenmesi ve kirleticiler dağılımlarının modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda maden işletmeye alınmadan öncesi ve sonrası trafik yükü belirlenmiş, belirlenen trafik yüklerine bağlı olarak CORINAIR'ın işlem temelli emisyon faktörleri ile emisyon hesaplamaları yapılmış ve CALROADS 4.0 programı ile kirlilik dağılım haritaları çıkarılmıştır. Model çalışmasından elde edilen maksimum konsantrasyon değerleri istatistiksel yollarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için hem konsantrasyonlarındaki artış yüzdeleri hesaplanmış hem de iki yönlü ANOVA testi uygulanmıştır (Analysis of Variance, ANOVA). Çalışma alanı olarak Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Artvin İli Cerattepe Mevkii'nde kurulan bir bakır madeni seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan CALINE4 (California line source dispersion model, version4) taşıtlardan kaynaklı kirleticiler madde konsantrasyonlarının modellenmesi için yaygın bir şekilde kullanılan modeldir (Singh ve Gokhale 2015). Trafik kaynaklı emisyon modellerinin tümü bir yol üzerinde geçen araç sayısı (saatlik/günlük), araç türü ve hızları gibi teknik bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Ancak bu modeller daha yüksek emisyonların meydana geldiği, araçların ani hızlanması ve yavaşlaması gibi hareketleri ihmal ettiklerinden hesaplamalarda sınırlamalar olmaktadır. Literatürde yapılmış çalışmalara bakıldığında kirleticiler konsantrasyonlarının ve dağılımlarının, zamana bağlı trafik yoğunluğu ve araç hızları gibi değişkenlere bağlı olduğunu göstermiştir (Lin ve Ge 2006).

Madenden kaynaklanabilecek trafik emisyonlarının belirlenmesi ve dağılımlarının değerlendirilmesi; ekonomik unsurların yanı sıra mutlaka çevre unsurlarının da dikkate alınarak faaliyetin gerçekleştirilmesi ve tüm faaliyetler gerçekleştirilirken çevre kirliliği en aza indirecek önlemlerin alınması açısından son derece önemlidir.

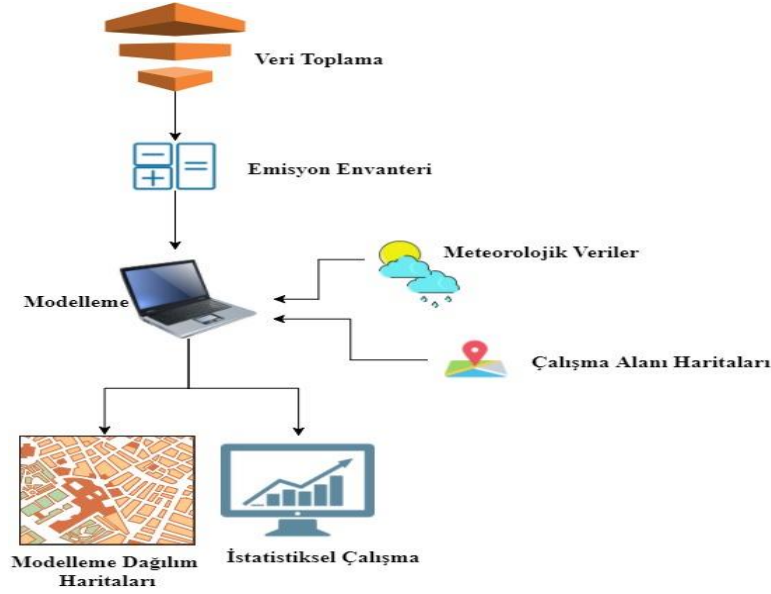
2. Materyal ve Metot

Maden sahası Artvin İl merkezinin yaklaşık olarak 4 km güneybatısında yer almaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen Artvin İli $40^{\circ} 34' 19.55''$ – $41^{\circ} 31' 29.62''$ kuzey enlemleri ile $41^{\circ} 09' 25.41''$ – $42^{\circ} 35' 47.16''$ doğu boylamları arasında yer alan, 7367 km² yüzölçümüne sahip Türkiye'nin en doğusunda kalan bir ildir. İlde sanayi sektörü oldukça düşük seviyededir. Sanayi sektöründe faaliyet gösteren işletmeler, daha çok ilin doğal kaynak potansiyelini değerlendirmeye yönelik olarak faaliyette bulunan gıda, maden ve orman ürünleri ağırlıklı bir yapıya sahiptir. Artvin'de herhangi bir organize sanayi bölgesi mevcut değildir. Bu durumda ilde hava kirliliğinin kaynağı olarak konutlarda ısınma kaynaklı fosil yakıt tüketimi ile trafik olduğu söylenebilmektedir (Özalp vd. 2013; Demirarslan vd. 2017). Çalışma; Şekil 1'de görülen iş akış şemasına göre, kirlilik modellemesi için gerekli olan giriş verilerinin toplanması, emisyonlar için emisyon envanterinin hazırlanması, verilerin modelleme programına girilmesi, programın çalıştırılıp kirlilik dağılım haritalarının çıkarılması ve sonuçların değerlendirilmesi adımlarından oluşmaktadır.

2.1. Modelleme Çalışması

Araçlardan kaynaklanan emisyonların modellenmesinde birçok çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmalar sonucunda kavşaklardaki ve/veya yol boyunca hava kalitesini değerlendirmede en iyi sonuçları sağlayan ve bu sonuçları haritalarla gösteren yarı sayısal ve belirleyici modeller ortaya çıkmıştır. Bu modellerin çoğu US EPA tarafından düzenleyici amaçlar için tavsiye edilmiştir (Gokhale ve Raokhande 2008). CALRoads View trafikten kaynaklanan kirleticilerin hava kalitesi üzerine etkilerini tahmin etmek için kullanılan hava kirliliği dağılım programıdır.

CALRoads View programı, CALINE 4, CAL3QHC (California Line Source Model with Queuing and Hotspot Calculation) ve CAL3QHCR (California Line Source Model with Queuing and Hotspot Calculation/Rafined) adı verilen trafik kaynaklı kirlilik tahmin programlarını aynı grafiksel ara yüzde birleştiren program bütünüdür.



Şekil 1: Çalışmanın iş akış şeması

CALINE 4 programı California taşımacılık bürosu (California Department of Transportation (Caltrans)) tarafından geliştirilen ve bir seri çizgisel kaynağın oluşturduğu kirlenici emisyonları modelleyen programdır. Gauss dağılım eşitliğine ve yol üzerindeki kirlenicilerin dağılımındaki karışım bölgesi karakterizasyonuna dayanmaktadır. Modelin amacı, motorlu kara taşıtlarının geçtiği yerlerde, hava kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesidir.

CAL3QHC, CALINE 4'ün geliştirilmiş bir modeli olup ek olarak trafik ışıklarında biriken araç kuyruğunu tahmin edebilen algoritmaları içermektedir. Program, CO, PM₁₀ ve inert kirleniciler gibi motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlenicileri modelleyebilmektedir (Tiway vd. 2011).

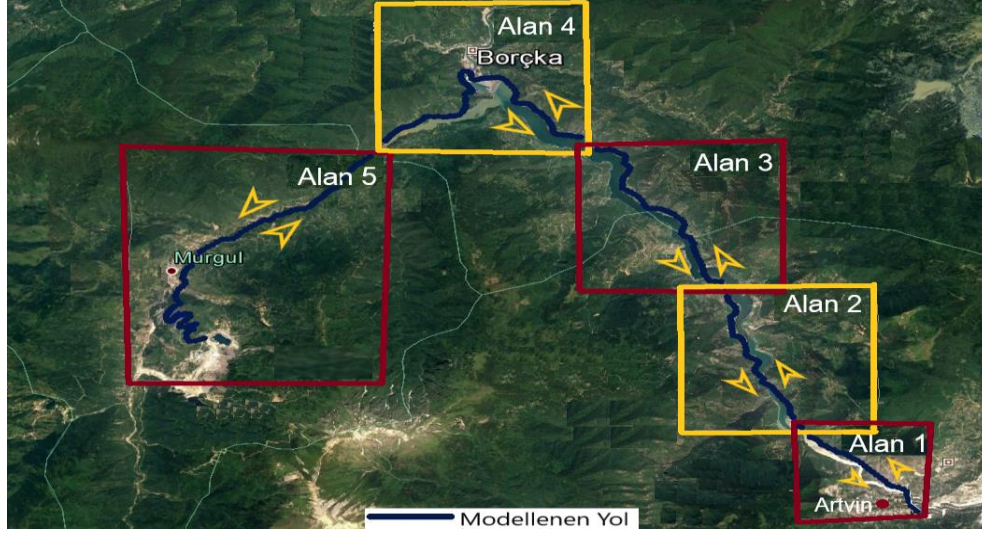
CAL3QHCR programı CAL3QHC programının temel algoritmalarındaki geliştirmeler ile oluşturulmuştur. Buna göre program, akan trafikteki ve kavşaklardaki PM₁₀ ve CO emisyonlarını saatlik olarak düzenlenmiş yıllık meteorolojik veriler ile hesaplayabilmektedir.

Modelde kırsal ve kentsel dağılım seçenekleri mevcut olup kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. Ayrıca bu modülde saatlik olarak hazırlanmış bir yıllık yüzey meteorolojik veriler kullanılmaktadır (Eckhoff ve Braverman 1995).

Yapılan bu çalışmada CALRoads View programı altında bulunan CAL3QHCR modülü kullanılmıştır. Çalışma güzergahındaki yollar modelleme kolaylığı bakımından 5 bölgeye ayrılmıştır. Tek parça olarak ele alınması modelleme öncesi harita üzerinde yol çizimini zorlaştıracak, modelleme sonrası kirlilik dağılım haritalarının yorumlanmasında hatalara neden olabilecektir. Bu ayrılmış bölgeler Şekil 2'de gösterilmektedir. Her bir bölgede önce maden açılmadan önceki mevcut trafik modellenmiş ardından maden açıldıktan sonraki trafik yükü eklenerek modelleme yapılmıştır. Modelleme çalışmasında değerlendirilen hava kirlenicileri ise CO, NO_x ve PM₁₀ olarak belirlenmiştir. Modelleme haritaları saatlik olarak elde edilmiştir. CALLRoads 4.0 programı içerisinde bulunan CAL3QHCR modülü, saatlik yüzey meteorolojik verilere ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle çalışma alanının modellemesinde Artvin il merkezinde bulunan istasyondan elde edilen 2012 yılına ait bir senelik saatlik meteorolojik veri kullanılmıştır. Meteorolojik veri setlerindeki yıldan yıla gerçekleşen değişikliklerin yapılan bu modelleme çalışması için sonuçları çok değiştirmeyeceği düşünüldüğünden 2012 yılına ait veri setinin kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir.

2.2. Emisyonların Hesaplanması

Çalışma kapsamında değerlendirilen maden sahası açılmadan önceki araçların tür ve sayıları, çalışma güzergahının Şekil 2'de görülen 1-4 alandaki (Artvin-Borçka) yolları için T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü tarafından hazırlanan 2013 Trafik ve Ulaşım Bilgileri raporundan alınmıştır (URL-4 2014). Şekil 2'deki alan 4-5 içerisinde yer alan Borçka-Murgul güzergahı için böyle bir veri olmadığından sayım yapılmıştır. Bu alandaki sayımlar için farklı zamanlarda 4 kez bölgeye gidilmiş ve saat 08:00-09:00, 12:00-13:00, 17:00-18:00, 19:00-20:00 saatleri arası araç sayımı yapılmıştır. Bu sayımlardan yararlanılarak günün diğer saatleri interpolasyonla tahmin edilerek günlük araç sayıları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de, modelleme alanlarında bulunan yolların uzunluk ve kaplama özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Kamyon güzergahı, modelleme alanları

Tablo 1: Maden sahası açılmadan önce çalışma alanı güzergahından geçen araçlar ve sayıları

Aracın Türü	Alan 1-2-3-4* (Artvin-Borçka Güzergahı) (Sayı/Gün)	Alan 4*-5 (Boçka-Murgul Güzergahı) (Sayı/Gün)
Otomobil	1703	864
Orta yüklü Ticari Taşıt	235	576
Otobüs	22	24
Kamyon	350	72
Kamyon + Römork, Çekici + Yarı Römork	186	-
Toplam	2469	1536

*Alan 4 içerisine Murgul-Borçka yol ayrımı girmektedir. Bu nedenle Alan 4 için araç sayıları modele girilirken yol ikiye bölünmüş, Artvin-Borçka yolu için rapordan alınan veriler, Borçka-Murgul yolu için sayımlar kullanılmıştır.

Tablo 2: Modelleme alanlarında bulunan yolların uzunluk ve kaplama özellikleri

Model Alanı	Yol Uzunluğu (metre)	Yol Tipi
Alan 1	5852	Asfalt Kaplama
Alan 2	7118	Asfalt Kaplama
Alan 3	8766	Asfalt Kaplama
Alan 4	12863	Asfalt Kaplama
Alan 5	15831	Stabilize Kaplama

Çalışma kapsamında maden sonrası ilave yük olarak 80 taşıt/gün kabulü yapılmıştır. Bu kabul 2013 yılında hazırlanarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığına sunulan ÇED Raporu'ndan alınmıştır (URL-5 2015). Bu raporda, yeraltından çıkartılan cevherin ocak ağzında (karoda) stoklanmayıp, ocak ağzında inşa edilecek olan yükleme sahasından kamyonlara yüklenerek zenginleştirme işlemi için Artvin ili Murgul ilçesinde bulunan işletmeye sevk edilmesi için inşa aşamasında çalışacak ekipmanlarla gidiş-geliş olmak üzere günde 80 taşıt öngörülmüştür.

Çalışma alanının modellenmesinde kullanılan CAL3QHCR modülü, modelleme hesaplarında kullanabilmesi amacıyla saatlik toplam araç sayısı ve bir aracın 1 mil uzunluğundaki bir yolda gram cinsinden toplam kirletici miktarını istemektedir (g/mil). Bu nedenle Tablo 1'de verilen günlük araç sayıları 24'e bölünmüştür. Çalışma alanından geçen araçların bir milde meydana getireceği CO, NO_x ve PM₁₀ miktarları CORINAIR'in işlem temelli (URL-6 2010), emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmış elde edilen sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Modellemede kullanılan emisyon faktörleri

Araç Türü	CO (g/mil)	NO _x (g/mil)	PM ₁₀ (g/mil)
Benzin (oto.)	6,87	5,22	0,012
Dizel (oto.)	0,82	1,96	0,32
LPG (oto.)	11,42	3,47	-
Kamyonet	2,54	2,30	0,012
Otobüs	2,89	12,79	0,66
Kamyon	3,137	6,64	0,707
TIR	3,137	19,96	0,91
TOPLAM	30,814	52,34	2,621

3. Bulgular

Çalışmada öncelikle maden açılmadan önceki mevcut trafik yükü belirlenmiş ve bu trafikten meydana gelen kirlilikler modellenmiş daha sonra madenin açılmasıyla oluşan kamyon trafiği eklenerek modelleme çalışması tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.1. Maden Öncesi ve Sonrası Trafik Emisyonlarının Dağılımı

3.1.1. CO Dağılımı

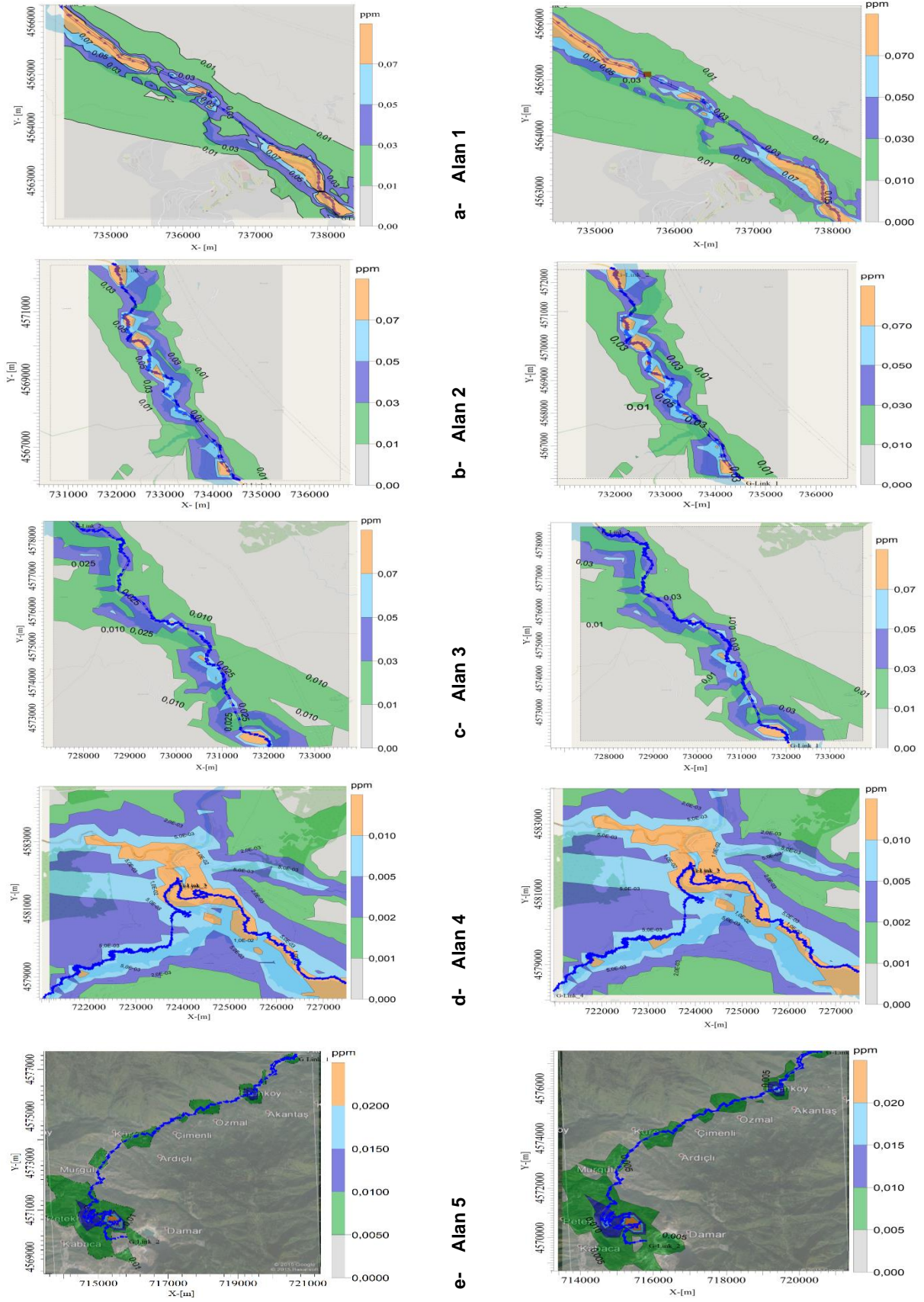
Maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan CO emisyonlarının dağılım haritası Şekil 3'de (5 ayrı alan için) görüldüğü gibidir. Şekil 3 (a, b, c, d, e) incelendiğinde maden öncesi; CO için en yüksek konsantrasyonlar Alan 1-5 için sırasıyla 0,2658 ppm; 0,1645 ppm; 0,1199 ppm; 0,0370 ppm; 0,0304 ppm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan en yüksek konsantrasyonların Alan 1'de Artvin il merkezinin 1,5 km doğusunda Artvin il girişinde olduğu görülmektedir. Bu yer özellikle otagara yakınlığı ve il girişinin olması nedeniyle trafik açısından oldukça yoğun bir noktadır. Ayrıca üniversite öğrencilerinin sosyal etkinliklerinin (kafeler, lokantalar vs.) gerçekleştirdiği bir yerdir. Alan 2'de Ormanlı köyünün 250 m kuzey batısında, Alan 3'de Ormanlı köyünün 800 m kuzeyinde, Alan 4'de Borçka barajının 900 m güney batısında hesaplanmıştır. Hesap edilen bu noktaya en yakın yerleşim alanı 1200 m güneydoğusunda bulunan Taraklı köyüdür. Modellenen son alanda bulunan en yüksek konsantrasyon seviyesi Murgul ilçesi Damar köyünün 1800 m doğusunda yer almaktadır. Maden sonrası için hesaplanan en yüksek konsantrasyonların Alan 1-5 için sırasıyla 0,2761 ppm; 0,1708 ppm; 0,1245 ppm; 0,0384 ppm; 0,0340 ppm olduğu belirlenmiştir. En yüksek konsantrasyonların hesaplandığı noktaların mevcut trafik dağılımları ile aynı noktalarda olduğu görülmüştür.

3.1.2. NO_x Dağılımı

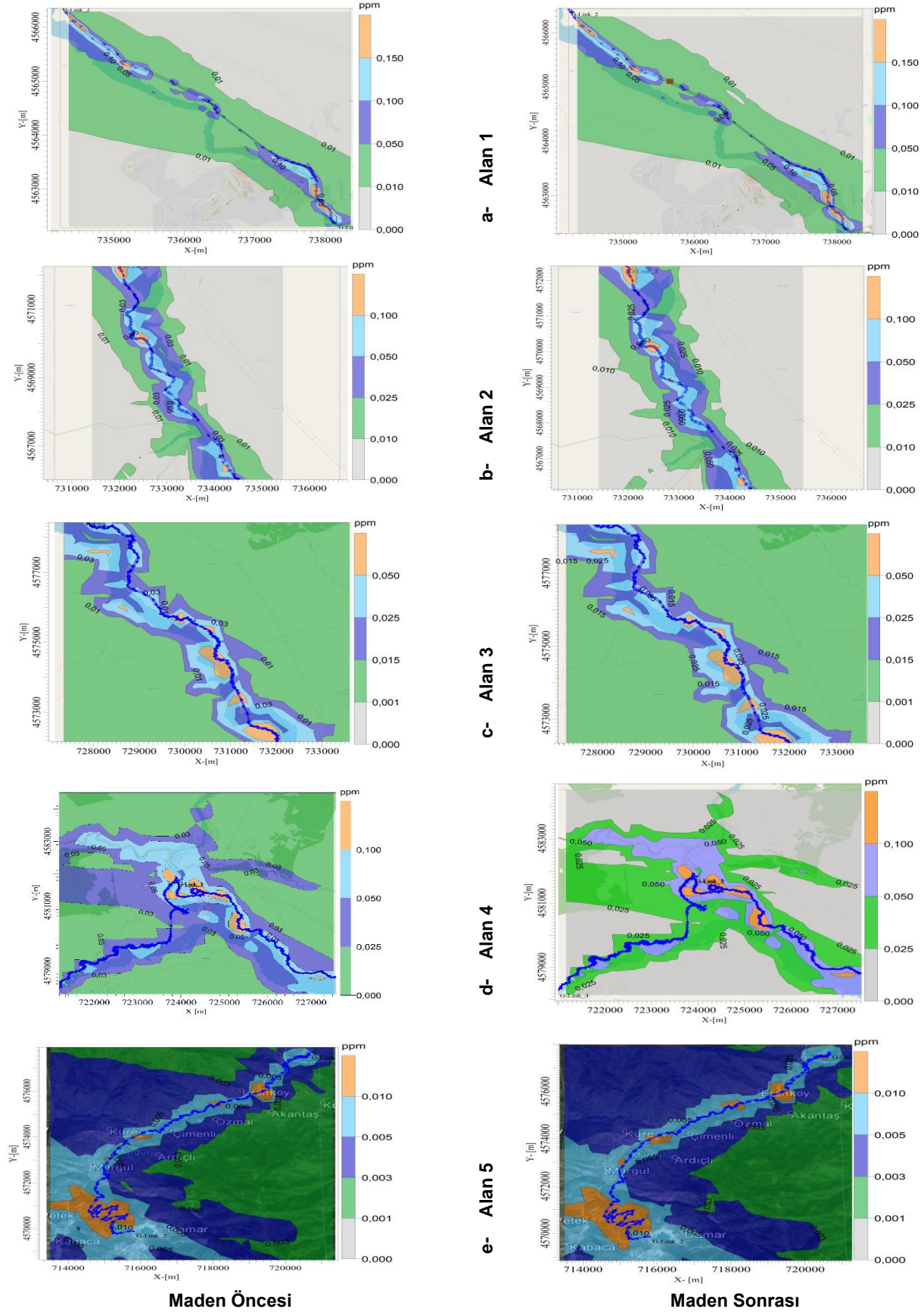
Çalışma alanındaki maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan NO_x emisyonlarının modellenmesi sonucu elde edilen saatlik kirlilik dağılım haritaları Şekil 4 (a, b, c, d, e)'de verilmektedir. Tüm çalışma alanlarına bakıldığında en yüksek konsantrasyonların hesaplandığı noktaların CO dağılımları ile aynı olduğu anlaşılmıştır. Hesaplanan en yüksek konsantrasyonlar ise tüm alanlarda maden öncesi için Alan 1-5 için sırasıyla 0,2748 ppm; 0,1701 ppm; 0,1239 ppm; 0,2155 ppm; 0,0498 ppm'dir. Çalışma alanında maden sonrasında mevcut trafiğe ilave yük olan kamyonların eklenmesiyle yapılan NO_x dağılım modellemesinde her bir alan için en yüksek konsantrasyonlar Alan 1-5 için sırasıyla 0,2854 ppm; 0,1766 ppm; 0,1287 ppm; 0,2238 ppm; 0,0557 ppm olarak hesaplanmıştır. En yüksek konsantrasyonların bulunduğu bu noktalar mevcut trafik dağılımlarındaki ile aynıdır.

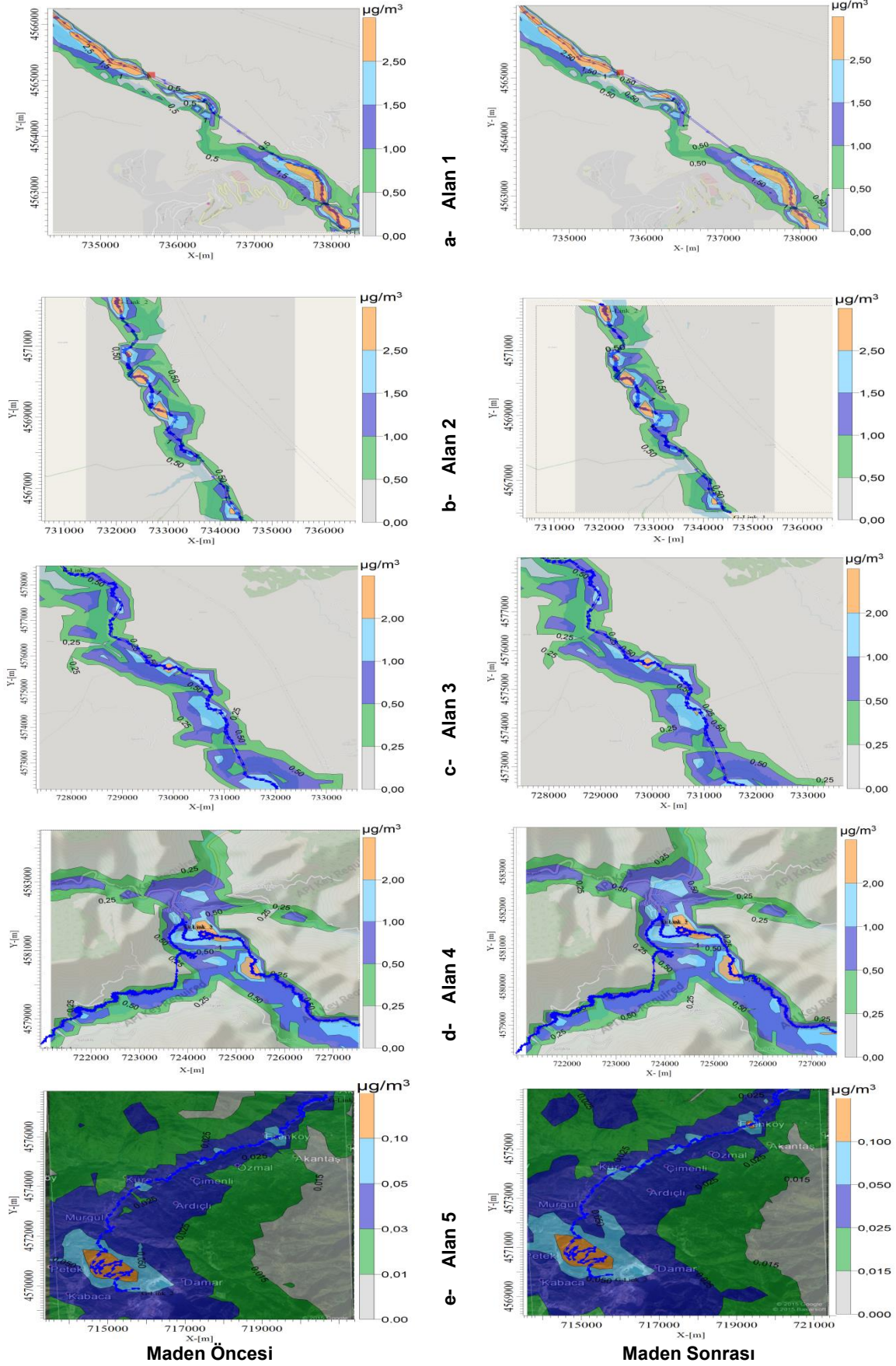
3.1.3. PM₁₀ Dağılımları

Şekil 5 (a, b, c, d, e)'de maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan PM₁₀ konsantrasyon dağılımları verilmektedir. Hesaplanan en yüksek konsantrasyonlar maden öncesi için Alan 1-5 için sırasıyla 9,8022 µg/m³; 6,2151 µg/m³; 3,2967 µg/m³; 4,6810 µg/m³; 0,1955 µg/m³'dir. En yüksek konsantrasyonların yeri Alan 1'de Artvin Çoruh Üniversitesi Şehir Yerleşkesi'nin 100 m güneybatısındadır. Bu nokta Artvin İl merkezinin girişine yakın bir noktadır ve trafik açısından yoğun bir bölgedir. Alan 2'de Ormanlı köyünün 1500 m güneyinde yer almaktadır. Alan 3'de Adagül köyünün 1500 m güneyindedir. Alan 4'de Borçka barajına yakın bir yerde olup Taraklı köyünün 650 m kuzeydoğusunda yer almaktadır. Son bölge olan Alan 5'de Murgul-Damar köyünün 1500 m batısında bulunmaktadır. Modelleme programı tarafından hesaplanan en yüksek PM₁₀ konsantrasyonları maden sonrası için Alan 1-5 için sırasıyla 10,1792 µg/m³; 6,4542 µg/m³; 3,4235 µg/m³; 4,8612 µg/m³; 0,2185 µg/m³ tür. Bu noktalar mevcut trafik için bulunan noktalar ile aynıdır.



Şekil 3: Maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan CO emisyonlarının dağılımı

Şekil 4: Maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan NO_x emisyonlarının dağılımı



Şekil 5: Maden öncesi ve sonrası trafikten kaynaklanan PM_{10} emisyonlarının dağılımı

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

Değerlendirme için hem maden öncesi ve maden sonrası trafik kaynaklı CO, NO_x ve PM₁₀ konsantrasyonlarındaki artış yüzdeleri hesaplanmış hem de iki yönlü ANOVA testi uygulanmıştır. ANOVA, istatistik temelli, analiz edilecek üç veya daha fazla bağımsız değişkenler arasında istatistiksel olarak farklılık olup olmadığını test eden, ilişkileri ortaya çıkaran ve tanımlayan bir analiz metodudur (Gumus vd. 2016; Bilga vd. 2016). ANOVA işlemindeki amaç, deneyi etkileyen faktör veya faktörlerin etkisinin belirlenmesidir. ANOVA tekniği kullanılarak yapılan analizler bazı temel varsayımlara dayanır. Bunlardan en önemlisi, hata terimlerinin, 0 ortalama ve σ^2 varyans ile normal dağılıma sahip olmasıdır. ANOVA testinin uygulanması için sağlanması gereken ön şartlardan biri de grupların varyanslarının homojen olmasıdır. Homojenliği Levene istatistiği sonuçlarına göre yani p değerlerine göre değerlendirilmektedir. İki yönlü ANOVA analizi ise birden fazla değişken arasındaki etkileri karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu karşılaştırmalardan en az birisi anlamlı olduğunda ANOVA sonucu da anlamlı bulunur. Bu çalışmada ise istatistiksel anlam seviyesi (p) 0,05 olarak belirlenmiştir. Bu seviye benzer istatistiksel analizlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelik 2012; Öztemur 2014; Zhang 2012; Zhou vd. 2014). Emisyonlar için artış yüzdeleri Tablo 4’de, iki yönlü ANOVA testi ile elde edilen p değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 4: Modelleme sonucu elde edilen en yüksek konsantrasyonlar ve koordinatları

Kirleticisi	Koordinat	Maden öncesi		Maden sonrası		Artış Yüzdesi
		(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(ppm)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
CO Alan-1	737961,24 m/4562697,02 m	0,2658	332,250	0,2761	345,125	3,875
CO Alan-2	732026,27 m/4572063,53 m	0,1645	205,625	0,1708	213,500	3,830
CO Alan-3	731825,98 m/4572478,56 m	0,1199	149,875	0,1245	155,625	3,837
CO Alan-4	725301,64 m/4580379,44 m	0,0370	46,250	0,0384	48,000	3,784
CO Alan-5	715459,55 m/4570548,06 m	0,0304	38,000	0,0340	42,500	11,842
NO _x Alan-1	737961,24 m/4562697,02 m	0,2748	564,321	0,2854	586,089	3,857
NO _x Alan-2	732026,27 m/4572063,53 m	0,1701	349,313	0,1766	362,661	3,821
NO _x Alan-3	713259,61 m/5127823,91 m	0,1239	254,438	0,1287	264,295	3,874
NO _x Alan-4	725301,64 m/4580379,44 m	0,2155	442,545	0,2238	459,589	3,852
NO _x Alan-5	715459,55 m/4570548,06 m	0,0498	102,268	0,0557	114,384	11,847
				($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
PM ₁₀ Alan-1	737861,19 m/4562996,94 m			9,8022	10,1792	3,846
PM ₁₀ Alan-2	732428,20 m/4570157,57 m			6,2151	6,4542	3,847
PM ₁₀ Alan-3	729909,56 m/4575676,97 m			3,2967	3,4235	3,846
PM ₁₀ Alan-4	725301,64 m/4580379,44 m			4,6810	4,8612	3,850
PM ₁₀ Alan-5	715459,55 m/4570548,06 m			0,1955	0,2185	11,765

Tablo 5: İki yönlü ANOVA testi ve kirleticilerin p değerleri

Kirleticisi	p Değeri
CO	1,73E-7
NO _x	8,78E-8
PM ₁₀	3,28E-7

Elde edilen p değerleri 0,05’ten küçük olduğundan %95 güvenilirlikle maden sonrası oluşacak trafiğin kirlilik etkisi üzerine olumsuz etkisi olabileceği söylenebilmektedir. Ancak p değerleri ile birlikte Tablo 3’deki artış yüzdelerine bakıldığında artış yüzdelerinin bazı alanlar ve bazı kirleticiler için yüksek olmasına karşın emisyonlar arasındaki farkın az olmasından ötürü bu durum ciddi bir sorun olarak görülmemektedir. Tablo 4’deki sonuçlar incelendiğinde Alan 5’deki artış yüzdesinin diğer alanlardan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu artış yüzdesindeki fazlalığın da Alan 5’e ait yol uzunluğunun diğer alanlardakinden fazla olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Düşük emisyon değerleri için bu artış yüzdeleri ciddi sonuçlar doğurmasa da yüksek emisyon değerlerinde sıkıntılı durumlar yaratabileceği düşünülmektedir.

Elde edilen maksimum konsantrasyonlar 06.06.2008 tarih ve 26898 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği sınır değerleri ile karşılaştırıldığında CO için 8 saatlik sınır değer olan 10 mg/m³ değerinin hem mevcut hem maden sonrası durumda aşılmadığı, NO_x için herhangi bir sınır değer olmamakla birlikte NO₂ için saatlik 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lük sınır değer ile karşılaştırıldığında hem mevcut hem maden sonrası durumda 1, 2, 3 ve 4. bölgelerde aşıldığı belirlenmiştir. Modellemede elde edilen maksimum PM₁₀ sonuçları saatlik sınır değer olan 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile karşılaştırıldığında her iki modelleme senaryosunda da tüm bölgelerde aşılmadığı anlaşılmıştır.

Literatürde yapılmış olan benzer çalışmalar araştırılmış ve şu bulgulara erişilmiştir. Chart-asa ve Gibson (2015) tarafından yapılan çalışmada trafik kaynaklı PM_{2.5} kirliliğinin kentsel projelendirme aşamasında bir yaklaşım geliştirmek amacıyla dağılımları incelenmiştir. Aynı zamanda kirliliğin sağlık üzerine etkileri de dağılım sonuçlarına göre irdelenmiştir. Bu nedenle 8,2 km uzunluğa sahip karayolu CAL3QHCR programı ile modellenmiştir. Modelleme sonucunda trafik kaynaklı PM_{2.5} konsantrasyonlarının yol açabileceği sağlık etkileri değerlendirilmiştir. Yine Chart-asa vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada yapılması planlanan üniversite kampüsünde trafik kaynaklı PM_{2.5} dağılımları CAL3QHCR ile hesaplanmıştır. Modelleme sonucu olarak yeni bir kampüs yeri ve yerleşimi önerilmiştir. Greco vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, CAL3QHCR modeli kullanılarak ABD Boston Metrosu çevresindeki karayolundan kaynaklı PM_{2.5} konsantrasyonlarının dağılımları incelenmiştir (Wu vd. 2009).

4. Sonuç

Maden endüstrisi kaynaklı trafik emisyonlarının belirlenmesi ve dağılımlarının modellenmesi maden kaynağı bakımından oldukça zengin olan Türkiye’de kirlilik değerlendirmesi ve gerekli önlemlerin alınması açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle çalışma kapsamında Artvin İl’inde bulunan bir bakır madeninin cevherin çıkarıldığı noktadan işletme alanına kadar sebep olduğu trafik kaynaklı emisyonları değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen dağılım haritaları incelendiğinde hesaplanan en yüksek konsantrasyonların Alan 1’de olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni bu alanın il merkezinin girişi olmasından ötürü trafik açısından diğer alanlara göre daha yoğun olması olarak düşünülmektedir. Maden öncesi ve maden sonrası için emisyonlara uygulanan ANOVA testi sonucu elde edilen p değerleri 0,05’ten küçük olduğundan %95 güvenlilikle maden sonrası oluşacak trafiğin kirlilik etkisi üzerine olumsuz etkisi olabileceği söylenebilmektedir. Modelleme sonucunda elde edilen maksimum konsantrasyonlar Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği sınır değerleri ile karşılaştırıldığında her iki durumda da CO ve PM₁₀ konsantrasyonlarının sınır değerleri sağladığı, ancak NO_x sonuçları NO₂ sınır değerleri ile karşılaştırıldığında 1, 2, 3 ve 4. bölgede hem maden öncesi hem de maden sonrası için sınır değerleri aştığı anlaşılmıştır. Çalışmada, CORINAIR’in işlem temelli emisyon faktörleri kullanılmış olup hesaplanan konsantrasyonlar bu faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla bölgede ortam havası ölçümlerinin yapılarak kirlilik değerlendirmesinin yapılması sınır değeri aşan kirlileti olmasından ötürü son derece önemlidir. Daha da önemlisi bölge için yapılacak çalışmalarla emisyon faktörlerinin oluşturulması ve ilerleyen yıllarda bölgeye özel emisyon faktörleri ile modelleme çalışmalarının sürekliliği önem arz etmektedir.

Emisyonlardaki artışlar incelendiğinde ise Alan 5’deki artış yüzdesinin diğer alanlardan daha fazla olduğu gözlenmiştir. CO için %11,842; NO_x için %11,847; PM₁₀ için %11,765’lik artış gözlenmiştir. Ancak artış yüzdesi dikkate değer gibi gözükse de çalışmada değerlendirilen kirliletiçiler açısından maden öncesi ile sonrası trafikten meydana gelen emisyon konsantrasyonları arasında çok ciddi bir artış bulunmamaktadır. Buna neden olarak maden sonrası trafiğe eklenecek taşıt sayısının 80 adet/gün ile sınırlandırılmış olması söylenebilir. Ancak bu sayının artması emisyon miktarlarında da artışa neden olacaktır. Bu nedenle çalışma alanı üzerinde trafiğin izlenmesi, kirlilik ölçümlerinin yapılması ve kirliletiçilerin sürekli olarak denetlenmesinin gerektiği düşünülmektedir. İncelenen kirliletiçilerdeki öngörülen artışın az olması çevresel koşullar açısından zararın az olması olarak düşünülmemelidir. Doğrudan ve dolaylı etkilerin sürekli olarak izlenmesinin gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

Teşekkür

Bu çalışma "Artvin İl’inde Yapılması Planlanan Maden İşletmesinin Trafik Kaynaklı Emisyonlar Üzerine Etkileri" isimli ve 2013.F40.02.02 kodlu Artvin Çoruh Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

- Bilga P.S., Singh S., Kumar, R., (2016). *Optimization of energy consumption response parameters for turning operation using Taguchi method*. Journal of Cleaner Production, 137, 1406–1417.
- Chart-asa C., Sexton K.G., MacDonald Gibson J. (2013), *Traffic Impacts on Fine Particulate Matter Air Pollution at the Urban Project Scale: A Quantitative Assessment*, Journal of Environmental Protection, 4, 49-62.
- Chart-asa C., MacDonald Gibson J., (2015), *Health impact assessment of traffic-related air pollution at the urban project scale: Influence of variability and uncertainty*, Science of The Total Environment, 506–507, 409-421.
- Çelik N., (2012), *ANOVA modellerinde çarpık dağılımlar kullanılarak dayanıklı istatistiksel sonuç çıkarımı ve uygulamaları*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Demirarslan K.O., Aydın E., Aydın M.A., (2017), *Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinin güz dönemi katı atık Arakterizasyonu*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 77-86.
- Dilek S., (2008), Maden-Madencilik, Altın ve Çevre, http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=2427&tipi=23&sube=0, [Erişim 15 Mart 2018].
- Eckhoff P.A., Braverman T.N., (1995), *Addendum to The User's Guide to CAL3QHC Version 2.0, CAL3QHCR User's Guide*, U.S. Environmental Protection Agency.

- Gokhale S., Raokhande N., (2008), *Performance evaluation of air quality models for predicting PM10 and PM2.5 at urban traffic intersection during winter period*, Science of the Total Environment, 394 (1), 9-24.
- Greco S.L., Wilson A.M., Hanna S.R., Levy J.I., (2007), *Factors influencing mobile source particulate matter emissions-to-exposure relationships in the Boston urban area*, Environmental Science & Technology, 41, 7675-7682.
- Gumus K., Selbesoglu M.O., Celik C.T., (2016), *Accuracy investigation of height obtained from Classical and Network RTK with ANOVA test*, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 90, 135-143.
- Lin J., Ge Y.E., (2006), *Impacts of traffic heterogeneity on roadside air pollution concentration*, Transportation Research Part D: Transport and Environment, 11(2), 166-170.
- Öztemur B., (2014), *Kayıp veri yöntemlerinin farklı değişkenler altında varyans analizi (t-testi, anova) parametreleri üzerine etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Bolu.
- Singh N.P., Gokhale S., (2015), *A method to estimate spatiotemporal air quality in an urban traffic corridor*, Science of the Total Environment, 538, 458-467.
- Tiwary A., Robins A., Mamdeo A., Bell M., (2011), *Air flow and concentration fields at urban road intersections for improved understanding of personal exposure*, Environment International, 37, 1005-1018.
- URL-1, (2009), Çevre ve Orman Bakanlığı, Türkiye Çevre Atlası, Madencilik, <http://www.cedgm.gov.tr/dosya/cevreatlasi/madencilik.pdf>, [Erişim 20 Mart 2018].
- URL-2, (2009), Maden Tetkik ve Arama, Madenler, http://www.mta.gov.tr/v1.0/index.php?id=maden_arama&m=4, [Erişim 15 Mart 2018].
- URL-3, (2008), Methane to Markets, Underground Coal Mine Methane Recovery and Use Opportunities, http://www.methanetomarkets.org/resources/factsheets/coalmine_eng.pdf, [Erişim 13 Şubat 2009].
- URL-4, (2014), Trafik ve Ulaşım Bilgileri, Otoyollar ve Devlet Yollarının Trafik Dilimlerine Göre Yıllık Ortalama Günlük Trafik Değerleri ve Ulaşım Bilgileri, Trafik Güvenliği Dairesi Başkanlığı Ulaşım Etütleri Şubesi Müdürlüğü, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/TrafikveUlasimBilgileri/13TrafikUlasimBilgileri.pdf>, [Erişim 23 Nisan 2015].
- URL-5, (2010), <http://www.eea.europa.eu/publications>, [Erişim 12 Ekim 2010].
- URL-6, (2015), Nihai ÇED Raporu, 201200222 Ruhsat Numaralı Cerattepe Bakır Madeni, Kırma-Elleme Tesisi ve Teleferik Hattı Projesi, <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/ek1/7772#>, [Erişim 23 Nisan 2016].
- Wang G., Van den Bosch F.H.M., Kuffer M., (2008), *Modelling urban traffic air pollution dispersion*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B8, 153-158, Beijing, China.
- Wu J., Houston D., Lurmann F., Ong P., Winer A., (2009), *Exposure of PM2.5 and EC from diesel and gasoline vehicles in communities near the Ports of Los Angeles and Long Beach, California*, Atmospheric Environment, 43(12), 1962-1971.
- Yavuz Özalp A., Akıncı H., Temuçin S., (2013), *Artvin ili arazisinin topografik ve bazı fiziksel özelliklerinin tespiti ve bu özelliklerin arazi örtüsü ile ilişkisinin incelenmesi*, AÇÜ Orman Fakültesi Dergisi, 14(2), 292-309.
- Zhang J.T., (2012), *An approximate degrees of freedom test for heteroscedastic two-way ANOVA*, Journal of Statistical Planning and Inference, 142(1), 336-346.
- Zhou H. Meng A., Long Y., Li Q., Zhang Y., (2014), *Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics*, Journal of the Air & Waste Management Association, 64(5), 597-616.